

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ODONTOLOGIA**

**EFEITO DA REMOÇÃO PARCIAL DE CÁRIE NO**  
**COMPORTAMENTO BIOMECÂNICO DE RESTAURAÇÕES CLASSE**  
**II COM COMPÓSITO “BULK-FILL”**

Aracaju, SE

Fevereiro de 2018

**PAULA FERNANDA DAMASCENO SILVA**

**EFEITO DA REMOÇÃO PARCIAL DE CÁRIE NO  
COMPORTAMENTO BIOMECÂNICO DE RESTAURAÇÕES CLASSE  
II COM COMPÓSITO “BULK-FILL”**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Odontologia da Universidade Federal de Sergipe, para obtenção do título de Mestre em Odontologia.

Orientador: Prof. Dr. André Luis Faria e Silva

Aracaju, SE

Fevereiro de 2018



FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE

Silva, Paula Fernanda Damasceno.

S586e      Efeito da remoção parcial de cárie no comportamento biomecânico de restaurações classe ii com compósito “bulk-fill” / Paula Fernanda Damasceno Silva ; orientador André Luis Faria e Silva. – Aracaju, 2018.

41 f. : il.

Dissertação (mestrado em Odontologia)– Universidade Federal de Sergipe, 2018.

1. Cáries dentárias. 2. Resistência à fratura. 3. Remoção de cárie. I. Silva, André Luis Faria e, orient. II. Título.

CDU 616.314

## RESUMO

Em lesões de cárie profundas, a manutenção da dentina afetada por cárie (remoção parcial de cárie) sob a restauração definitiva tem sido recomendada para evitar danos adicionais à polpa, mas os efeitos da presença deste tecido dentinário mais resiliente sob a restauração ainda não está totalmente esclarecido. Assim, este estudo objetivou desenvolver um método de indução de cárie na dentina usando desafio ácido associado ao modelo de biofilme de microcosmo e determinar o efeito da manutenção da dentina afetada pela cárie sob restauração composta em seu comportamento biomecânico. Vinte terceiros molares, com preparo cavitário classe I, foram armazenados em solução desmineralizante de ácido acético por 32 dias. Após isso, biofilme de microcosmos foi cultivado por 7 dias sobre a dentina desmineralizada, sendo exposto a 6 horas sacarose em cada dia. A dentina afetada foi removida em metade das amostras, sendo mantida nas demais ( $n = 10$ ). As paredes proximais também foram removidas e as cavidades classe II restauradas com o compósito Filtek Bulk-Fill. A deformação das cúspides vestibular e lingual foi avaliada por extensometria durante o procedimento restaurador. A presença de trincas nestas cúspides também foi analisada por transiluminação antes e após a restauração. Quatro amostras ( $n = 2$ ) foram utilizadas para mensurar volumetricamente a deformação de cúspide através de diferenças nas imagens obtidas em micro tomografia computadorizada. Em seguida, todas as amostras foram submetidas a 1.200.000 de ciclos mecânicos, sendo analisada a propagação de trincas; seguido por teste de resistência à fratura. Dados de deformação de cúspide e média de trincas/ dente foram submetidos a ANOVA de duas vias com medidas repetidas. O teste exato de Fisher foi usado para avaliar o efeito da remoção de cárie na proporção de trincas maiores e menores que 3 mm. Os dados do teste de resistência à fratura foram submetidos ao teste T. O nível de significância foi definido em 5% para todas as análises. A remoção de cárie não afetou a presença e distribuição das trincas, a deformação de cúspide e resistência a fratura dos elementos dentais restaurados com compósito. O procedimento restaurador aumentou o número de trincas dentais, que não foi afetado pela ciclagem mecânica. Como conclusão, a manutenção da dentina afetada pela cárie sob restauração de resina composta não afetou o comportamento biomecânico desta.

Descritores: Cárie artificial, resistência à fratura, remoção de cárie.

## ABSTRACT

In deep caries lesions, the maintenance of caries-affected dentin (partial caries removal) under the final restoration has been recommended to avoid additional damage to the pulp, but the effects of the presence of this more resilient dentin tissue under restoration is not yet fully elucidated. Thus, this study aimed to develop a method to induce caries in the dentin using acid challenge associated to a microcosm biofilm model, and to determine the effect of maintaining caries-affected dentin under composite restoration in its biomechanical behavior. Twenty third molars, with class I cavity preparation, were exposed to acetic acid demineralizing solution for 32 days. Afterwards, microcosm biofilm was cultured for 7 days on the demineralized dentin, under daily 6 hours regimen of sucrose. The caries-affected dentin was removed in half of the samples, while it was maintained in the others ( $n = 10$ ). The proximal walls were also removed and the class II cavities restored with the composite Filtek Bulk-Fill. The deformation of the buccal and lingual cusps was evaluated by strain gauges during the restorative procedure. The presence of cracks in these cusps was also analyzed by transillumination before and after the restorative procedures. Four samples ( $n = 2$ ) were used to volumetrically measure cusp deformation by differences in the images obtained before and after the restoration with micro computed tomography. Afterwards, all samples were submitted to 1,200,000 mechanical cycles and the crack propagation was analyzed; followed by fracture resistance test. Data of cusp strain and averages of crack/ tooth were submitted to two-way repeated measures ANOVA. Fisher's exact test was used to evaluate the effect of caries removal on the proportion of cracks larger and shorter than 3 mm. Data of the fracture strength were submitted to the T-test. The level of significance was set at 5% for all analyzes. Caries removal did not affect the presence and distribution of cracks, cusp deformation, and fracture strength of teeth restored with composite. The restorative procedure increased the number of cracks, which was not affected by mechanical cycling. As conclusion, maintaining caries-affected dentin under composite restorations did not affect their biomechanical behavior.

Descriptors: Artificial caries, fracture resistance, caries removal.

# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2. PROPOSIÇÃO .....</b>	<b>3</b>
<b>3 METODOLOGIA .....</b>	<b>4</b>
<b>3.1 Delineamento experimental:.....</b>	<b>4</b>
3.1.1. Cálculo Amostral.....	4
3.1.2. Seleção da Amostra.....	4
3.1.3. Preparação da cavidade .....	5
3.1.4. Indução da lesão cariosa.....	5
3.1.5 Simulação do ligamento periodontal.....	6
3.1.6 Remoção do tecido cariado .....	7
3.1.7 Análise de trincas .....	7
3.1.8. Procedimento restaurador.....	8
3.1.9. Deformação de cúspide em microtomografia computadorizada .....	11
3.1.10. Fadiga mecânica.....	13
3.1.11. Teste de resistência a fratura .....	13
3.2.12. Análise Estatística .....	14
<b>4 RESULTADOS.....</b>	<b>15</b>
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>37</b>
<b>6 COMUNICADO DE IMPRENSA .....</b>	<b>38</b>
<b>7 REFERÊNCIAS .....</b>	<b>39</b>

# 1 INTRODUÇÃO

O tratamento da doença cárie baseia-se no tratamento de fatores causais buscando evitar a instalação da doença e paralisar a sua evolução (1). Entretanto, na presença de lesões cavitadas, procedimentos restauradores podem ser indicados para auxiliar no controle da placa, para proteger o complexo dentino-pulpar, e restaurar função, forma e estética do elemento dental (2-3). Previamente à inserção do material restaurador, a remoção do tecido cariado é indicada apenas para criar condições de aumentar a longevidade da restauração (4). Assim, inicialmente, a remoção completa do tecido cariado era indicada devido a necessidade de obter cavidades ideais para inserção de amálgama, o que não seria mais justificado quando se utiliza restaurações adesivas (5). Considerando a retenção e reforço da estrutura dental remanescente pelo procedimento adesivo (6), a manutenção de tecido dentinário hígido e da dentina cariada passível de remineralização tem sido preconizada para restaurações em compósitos (7,4). A manutenção de parte do tecido cariado reduz o risco de exposição pulpar (8-9-10), o que aumentaria a complexidade e o custo do tratamento.

A remoção parcial do tecido cariado envolve a remoção da dentina amolecida mais externa (infectada), que apresenta degradação da rede de fibrilas colágenas, e preserva a dentina afetada com características estruturais que permitem sua remineralização (11). Seguindo a remoção parcial da dentina cariada, pode-se reabrir a cavidade após algum período de espera para remoção de dentina cariada remanescente após a formação de dentina terciária reparadora, o denominado tratamento expectante; ou selar de forma definitiva a cavidade mantendo a dentina cariada remanescente sob a restauração (3). Ambos os procedimentos paralisam a progressão da lesão de cárie e mantem a integridade do tecido pulpar sendo que a principal diferença está na necessidade de reabertura da cavidade quando se opta pelo tratamento expectante (12). Apesar da reabertura aumentar o tempo de tratamento, diversos clínicos optam pelo tratamento expectante em virtude do paradigma de que a manutenção de dentina cariada remanescente sob a restauração poderia reduzir a longevidade da mesma (13,5).

Uma recente revisão sistemática de ensaios clínicos controlados demonstrou que a remoção incompleta da dentina cariada e o tratamento expectante reduzem a taxa de exposição e a ocorrência de sintomas pulpares pós-operatórios (9). Além disto, a remoção incompleta não alterou a taxa de falha das restaurações. Entretanto, na maior parte dos



estudos, o tempo de acompanhamento das restaurações foi de até 2 anos, que pode ser insuficiente para demonstrar diferenças entre técnicas restauradoras em dentes posteriores (14), e em dentes decíduos. Apenas um estudo avaliou a presença de restauração de compósito sobre dentina cariada remanescente por período mais longo (10 anos) em dentes permanentes, mas este usou restaurações de amálgama sobre cavidades sem dentina cariada remanescente como controle (15). Assim, a questão sobre os possíveis efeitos da remoção incompleta de cárie sobre a longevidade de restaurações adesivas ainda não está completamente estabelecida.

Apesar da relevância dos ensaios clínicos na definição de protocolos restauradores, o acompanhamento de restaurações por longos períodos é difícil e oneroso, além de que materiais avaliados em estudos de longa duração podem não mais estar disponíveis no mercado após o final da avaliação. Outro problema em estudos clínicos envolvendo restaurações em dentes após remoção incompleta de cárie é a padronização das lesões/cavidades. Desta forma, este estudo visa determinar um método *in vitro* para padronizar lesões cariosas cavitadas em dentina e avaliar os efeitos da remoção incompleta de cárie sobre a manutenção de parâmetros clínicos aceitáveis e resistência à fratura de restaurações submetidas a ciclagem mecânica.

## 2. PROPOSIÇÃO

### *Objetivo Geral*

Avaliar os efeitos da remoção incompleta de cárie sobre o comportamento biomecânico de restaurações classe II confeccionadas com compósito “Bulk-fill”.

### *Objetivos Específicos*

- Determinar um método *in vitro* para padronizar lesões cariosas cavitadas em dentina;
- Avaliar o efeito da remoção da dentina afetada por cárie sobre o desenvolvimento e propagação de trincas no dente/ restauração durante procedimento restaurador e ciclagem mecânica;
- Avaliar o efeito da remoção da dentina afetada por cárie sobre a deformação de cúspide;
- Relacionar o protocolo de remoção de cárie à resistência à fratura da restauração e padrão de falha.

### 3 METODOLOGIA

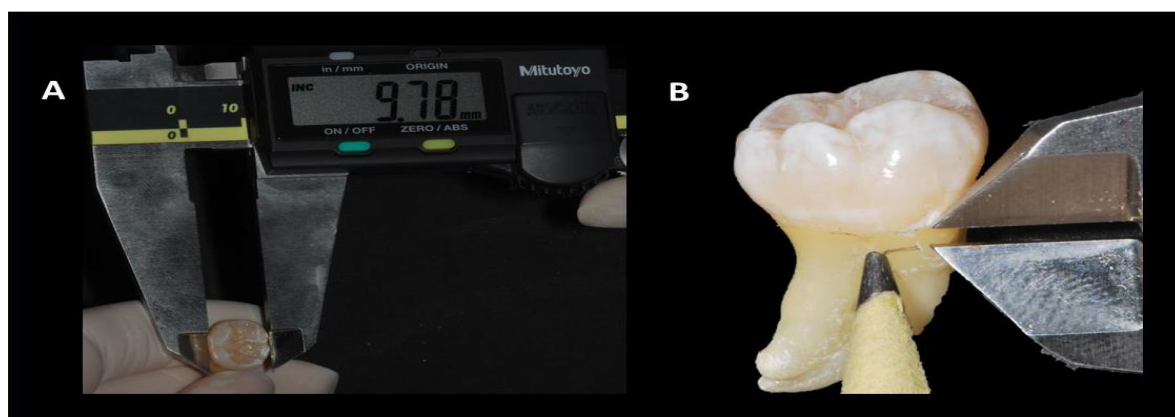
#### 3.1 Delineamento experimental:

##### 3.1.1. Cálculo Amostral

O cálculo amostral foi realizado apenas para a resistência à fratura, uma vez que este foi definido como desfecho primário. O cálculo foi baseado em dados de um estudo anterior que avaliou a resistência à fratura das restaurações compostas de Classe II (16). O coeficiente de variação da resistência à fratura foi calculado para todas as condições experimentais, enquanto a média desta (0,22) foi utilizada para o cálculo do tamanho da amostra do presente estudo. Consideramos uma diferença mínima detectável nos meios de 0,30, poder de teste de 0,80 e  $\alpha = 0,05$ , para dois grupos experimentais submetidos ao teste T. O cálculo foi realizado utilizando o software estatístico SigmaStat v.3.5 (Systat Software Inc., Chicago, IL, USA) e o tamanho da amostra exigido foi de 10.

##### 3.1.2. Seleção da Amostra

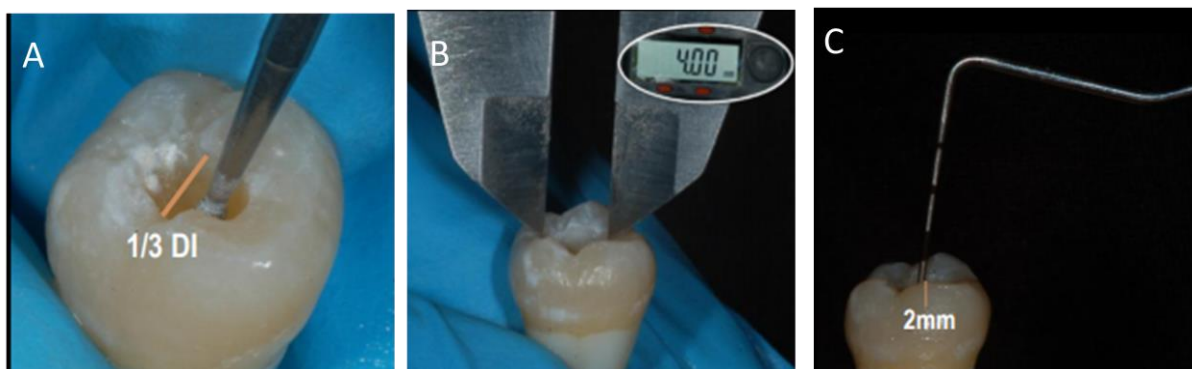
Vinte terceiros molares foram selecionados com base nas suas dimensões e forma. Antes da seleção dos dentes, as maiores dimensões da coroa mesio-distal e bucal-lingual foram medidas usando um paquímetro digital (Figura 1). A média da área dimensional da coroa e o desvio padrão foram calculados e os dentes com dimensões coronais maiores ou inferiores ao desvio padrão foram substituídos. Os dentes foram alocados aleatoriamente nas duas condições experimentais que procuram eliminar qualquer diferença em relação às dimensões e ao número e forma das raízes entre eles.



**Figura 1** – (A) Mensuração do comprimento da coroa do molar; (B) Marcação realizada 2 mm abaixo da junção cimento-esmalte para definição do limite do embutimento.

### 3.1.3. Preparação da cavidade

Uma broca esférica (# 1014, KG Sorensen, Barueri, SP, Brasil) foi introduzida a 2 mm de profundidade no centro do sulco oclusal mais profundo. Em seguida, utilizou-se uma broca cilíndrica (# 3099, KG Sorensen, Barueri, SP, Brasil) para ampliar a cavidade até obter uma cavidade de classe I com 4 mm de comprimento e 2 mm de largura (Figura 2). As brocas foram substituídas após cinco preparações de cavidade.



**Figura 2** – (A) Ponta diamantada realizando preparo cavitário que envolveu 1/3 da distância inter-cuspídea; (B) largura méso-distal da cavidade mensurada com paquímetro digital; e (C) Profundidade da cavidade mensurada com uma sonda milimetrada periodontal. DI = distância inter-cuspídea.

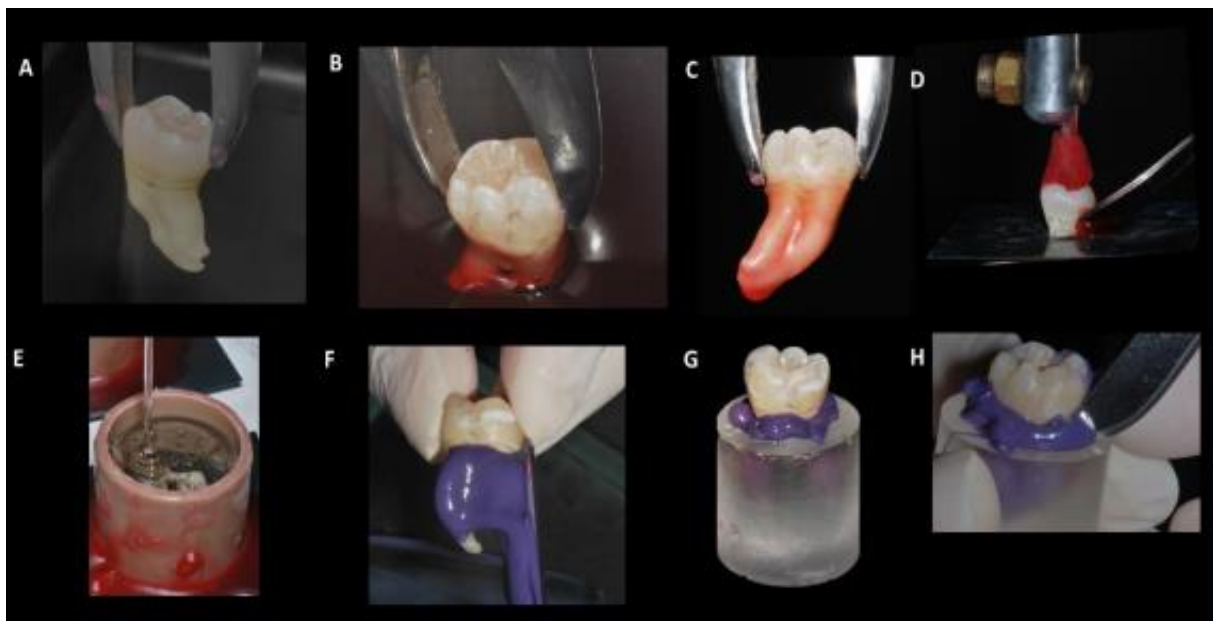
### 3.1.4. Indução da lesão cariosa

O procedimento de indução da lesão cariosa foi realizado no laboratório de microbiologia do departamento de odontologia da Universidade Federal de Pelotas. As superfícies externas dos dentes foram protegidas com esmalte de unha e as paredes circundantes da cavidade foram protegidas com adesivo (Single Bond Universal, 3M-ESPE, St. Paul, MN EUA). Os dentes ficaram armazenados em água destilada e depois foram armazenados em solução desmineralizante (ácido acético, pH 4,5) durante 32 dias a 37°C. O tempo foi determinado de acordo com estudo piloto de forma a produzir lesões de aproximadamente 1 mm de dentina amolecida. As mesmas amostras foram, em seguida, expostas ao biofilme de microcosmos, para mimetizar a dentina afetada por cárie similar a observada clinicamente. A saliva foi coletada de um voluntário saudável, que não esteve sob terapia antibiótica durante o último ano. O voluntário se absteve de higiene oral por 24 horas e alimentação por 2 horas antes da coleta de 20 mL de saliva. A saliva coletada foi inserida

em um tubo estéril e imediatamente homogeneizada (Biomixer QL-901; Biomol Equipment and Products for Laboratories, Ribeirão Preto, São Paulo, Brazil). As amostras foram colocadas em placas seguidas da inoculação de 400 µL de saliva. Depois de uma hora, a saliva foi removida e trocada por 1.8 mL de meio enriquecido com mucina contendo 1% de sacarose. As amostras foram incubadas em condições anaeróbias à 37°C. Depois de seis horas, as amostras foram lavadas com solução salina por cinco segundos e inseridas em novas placas contendo 1.8 mL de meio enriquecido por mucina sem sacarose e incubadas por 18 horas sob as mesmas condições. O biofilme foi cultivado por 5 dias nesse regime, e o meio foi trocado duas vezes por dia durante 7 dias. Imagens obtidas através da microtomografia computadorizada (Micro-CT; SkyScan, Bruker, Kontich, Belgium) foi utilizada para confirmar a profundidade da lesão.

### 3.1.5 Simulação do ligamento periodontal

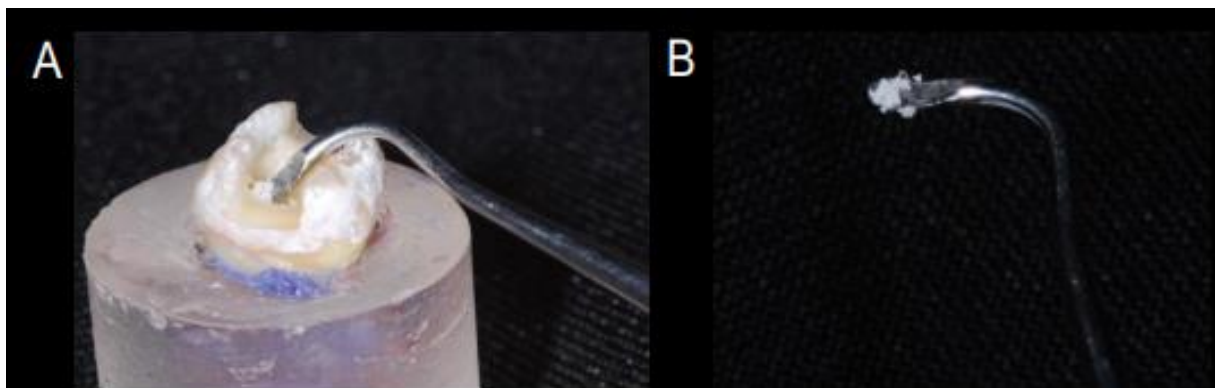
Com o objetivo de manter a liberdade de movimento, simulando melhor o deslocamento da raiz e da coroa, as raízes foram cobertas com camada de 0,3 mm de material de impressão a base de poliéter (Impregum F, 3M-ESPE, St Paul, MN EUA). Este processo visou simular o ligamento periodontal e as amostras foram incluídas em resina de poliestireno (Cristal, Piracicaba, SP) até 2 mm abaixo da junção cimento-esmalte para simular o osso alveolar (Figura 3). Essa etapa da pesquisa foi realizada no Centro de Pesquisa de Biomecânica, Biomateriais e Biologia Celular da Faculdade de Odontologia da Universidade Federal de Uberlândia.



**Figura 3** – (A) Dente demarcado com o limite da inclusão sendo levado para cobrir a raiz com cera; (B) Dente com as raízes mergulhadas em cera plastificada; (C) Raiz coberta com cera criando a espessura para simulação do ligamento periodontal; (D) Amostra posicionada no centro da película radiográfica e preso a delineador protético para garantir paralelismo durante inclusão. (E) Resina de poliestireno sendo vertida no cilindro de PVC; (F) Inserção do material de moldagem à base de poliéter na raiz para simular o ligamento periodontal; (G) Dente incluído em cilindro de resina com a raiz coberta com poliéter; e (H) Remoção dos excessos do material de moldagem.

### 3.1.6 Remoção do tecido cariado

A dentina amolecida da parede pulpar foi removida manualmente com uma colher de dentina nas amostras alocadas para o protocolo de remoção completa de cárie (Figura 4 ). O procedimento de remoção foi realizado até obter uma dentina dura e seca. Por outro lado, nenhum procedimento de remoção de cárie foi realizado para os espécimes alocados ao protocolo de remoção parcial de cárie. Além disso, as paredes proximais foram removidas com uma broca diamantada (# 3099, KG Sorensen, Barueri, SP, Brasil) resultando em cavidades de classe II. Após o término da preparação da cavidade e remoção de cárie, os espécimes foram analisados quanto à presença de trincas nas cúspides vestibular e lingual.



**Figura 4** - A e B: Remoção da dentina amolecida na parede pulpar utilizando colher de dentina.

### 3.1.7 Análise de trincas

Previamente ao procedimento restaurador, avaliou-se a presença de trincas na estrutura dental. As amostras foram posicionadas em dispositivo desenvolvido para esta finalidade, com a luz LED de um iluminador de fibra óptica (Photonita, P1050, Florianópolis,

SC, Brasil) posicionado na superfície oclusal do dente (Rossato et al., 2015). Imagens da amostra foram capturadas sob condições padronizadas, com câmera fotográfica Canon EOS REBEL T5i (Canon Inc., Tóquio, Japão) acoplada com lente macro Tokina AT-X (100 f/ 18, 1/200 segundos) (Figura 5).

As trincas foram avaliadas observando-se o quantitativo, a extensão em mm da trinca e a sua localização: base do preparo ou ponta de cúspide; mesial, distal ou medial; e a direção: vertical, horizontal e oblíqua. A imagem foi carregada e o tamanho da trinca determinado usando o software ImageJ (National Institutes of Health, Bethesda, MD, EUA). Para tanto, primeiramente uma distância mensurada inicialmente da coroa dentária foi fornecida ao software, utilizando a ferramenta "*set scale*" da aba "*analyze*". A partir desta distância conhecida, ao selecionar a trinca escolhida, era possível medir o seu tamanho na ferramenta "*measure*". As trincas foram categorizadas em: (I) sem trincas visíveis, (II) trincas visíveis menores que 3 mm, e (III) trincas visíveis maiores que 3 mm.



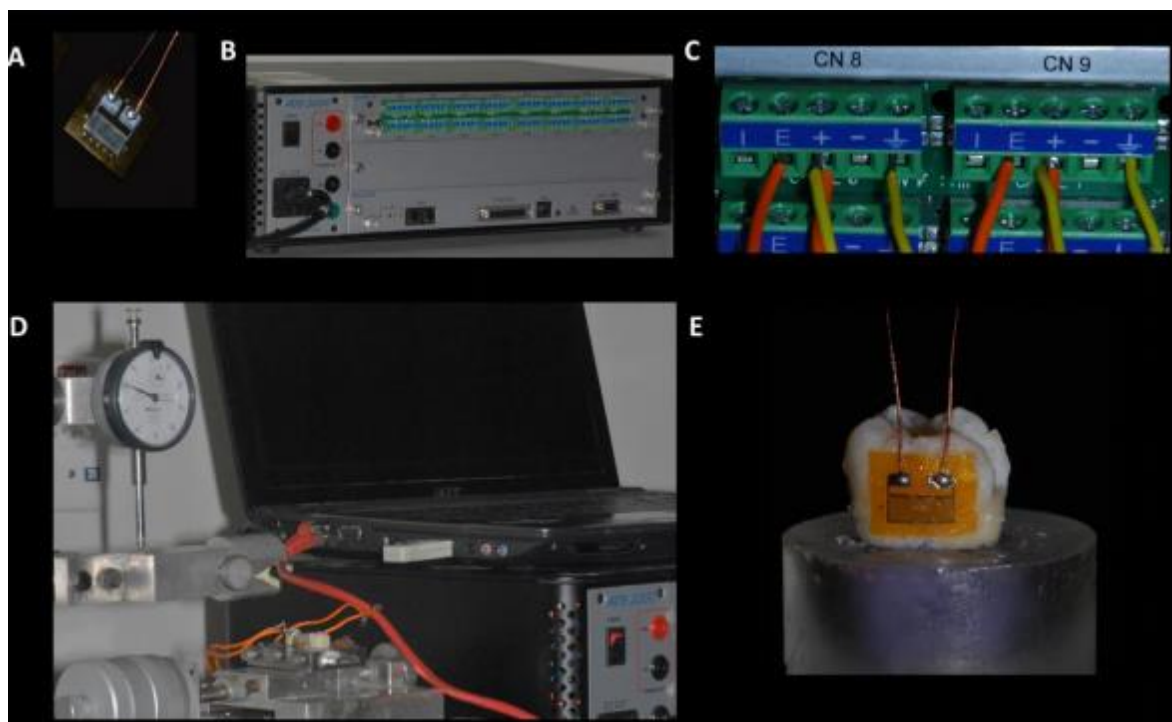
**Figura 5** - Avaliação das trincas através da técnica de transiluminação.

#### 3.1.8. Procedimento restaurador

Os dentes foram hibridizados por meio de condicionamento seletivo do esmalte por 30 segundos com ácido fosfórico a 37% (Fusion Duralink 37%, Angelus, Londrina, PR, Brasil). Após lavagem com spray de água por 30 segundos, secou-se a cavidade com papel absorvente e aplicou-se o sistema adesivo Single Bond Universal em modo auto-condicionante, que foi fotoativado por 20 segundos. A deformação de cúspide foi medida utilizando extensômetros unidirecionais (PA-06-060CC-350L, Excel Sensores, Embú, SP, Brasil), com resistência elétrica interna de 350 V, um fator de sensibilidade de 2,14 e tamanho de grelha de 21,02 mm<sup>2</sup>. Os extensômetros foram fixados, nas faces vestibular e



lingual, na região onde um estudo anterior indicou a presença de maior concentração de tensões de polimerização utilizando modelo de elementos finitos (17) (Figura 6). Dois extensômetros foram fixados a outro dente com o preparo cavitário similar (amostra passiva) para compensar os desvios dimensionais devido a efeitos de temperatura. Os extensômetros foram colados com adesivo a base de cianoacrilato (Super Bond, Locitite, Itapeví, SP, Brasil) e conectados a um dispositivo de aquisição de dados (ADS2000, São Paulo, SP).

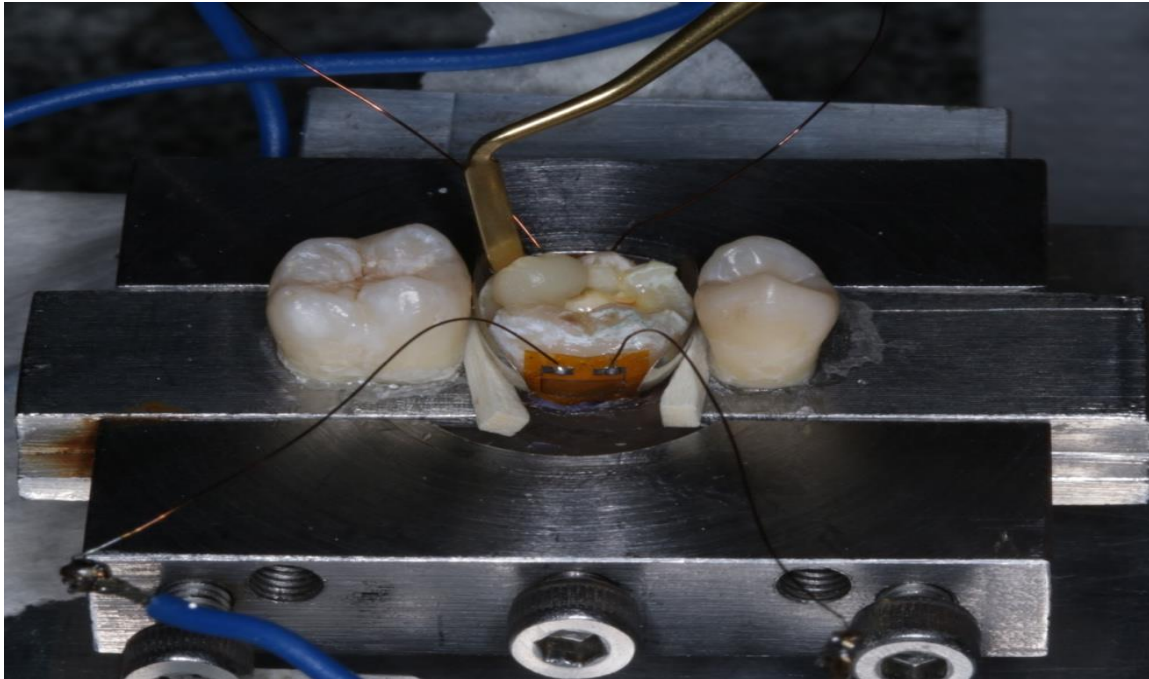


**Figura 6** – (A) Extensômetro unidirecional utilizado no estudo; (B) Placa de aquisição de dados; (C) Ligação de 1/2 ponte utilizada no teste; (D) Dente posicionado durante teste com extensômetros conectados à placa de aquisição ligada ao computador; e (E) Extensômetro colado na cúspide em região de base de preparo.

As restaurações foram feitas com a resina composta de incremento único Filtek Bulk-Fill (3M ESPE dental Product, St Paul, MN) com 2,0 mm de espessura preenchendo área de dentina e esmalte (Figura 7). Os compósitos foram fotoativados utilizando o LED Valo Cordless (Ultradent, South Jordan, UT, USA) com duas fotoativações de 20 segundos cada, sendo uma na mesial e outra na distal (Figura 8). As amostras foram restauradas em dispositivo criado para simular a presença de dentes adjacentes para permitir contato interproximal durante a restauração (Rosatto *et al.*, 2015). Para os dentes pertencentes ao grupo "remoção total" foi aplicada uma fina camada de ionômero de vidro modificado por resina (Vitrebond, 3M-ESPE, St Paul, MN EUA), previamente à aplicação do adesivo,



simulando uma proteção pulpar. A deformação de cúspide foi mensurada a 4 Hz durante os procedimentos restauradores e continuou até completar 10 minutos após a fotoativação da resina (AqDados 7.02 e software de aquisição de dados AqAnalysis, Lynx). Após as restaurações, os dentes foram trans-iluminados novamente para detectar a presença ou propagação de trincas.



**Figura 7** - Amostra posicionada em dispositivo de simulação de contato.



**Figura 8** - Fotoativação do compósito, posicionado a ponta do aparelho sobre as cristas mesial (imagem da esquerda) e distal (imagem da direita).

### 3.1.9. Deformação de cúspide em microtomografia computadorizada

Para avaliar a deformação de cúspide nas restaurações, dois dentes de cada grupo foram escaneados utilizando um dispositivo de microtomografia computadorizada (micro-CT; Skyscan 1272, Bruker, Bélgica) em dois momentos: (1) Preparado, com os dentes após o preparo da cavidade; (2) Restaurado, após fotoativação dos materiais restauradores. Os dentes foram colocados no micro-CT na mesma posição, com a face vestibular voltada para porta, para padronizar e facilitar a sobreposição das imagens 2D (Figura 9). As amostras foram fixadas no porta-amostra com cera utilidade, para evitar movimentações durante o escaneamento.

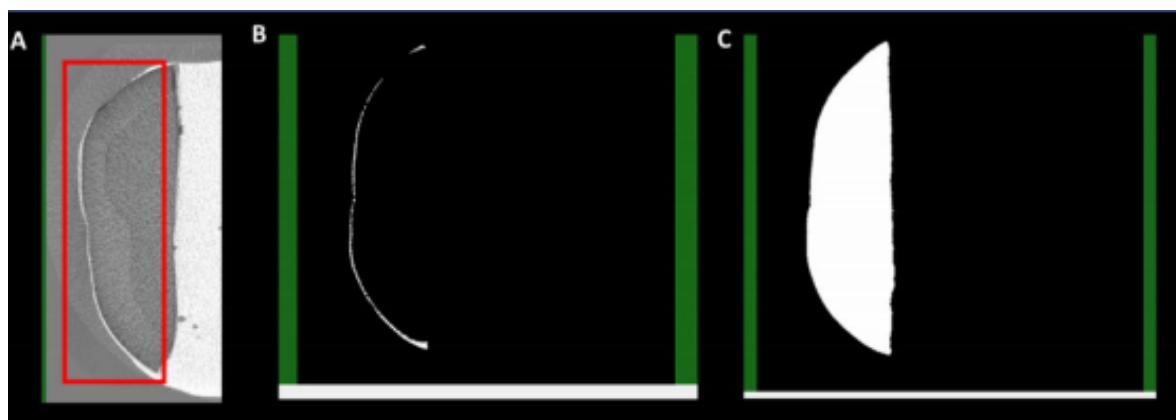


**Figura 9** - Amostra fixada em dispositivo próprio, dentro do micro-CT, com cera utilidade e com a face vestibular voltada para o operador.

As imagens foram obtidas sob os mesmos parâmetros de escaneamento, com tempo de exposição de 2000 milissegundos, filtro de Cobre de 0,11 mm de espessura, tamanho de voxel de 10 $\mu$ m, 100 KV, 100 $\mu$ A, em 180° com ângulo de rotação de 0,400. As imagens escaneadas foram importadas para uma estação de trabalho e reconstruídas no software Nrecom (versão 1.6.10.1, Skyscan, Bruker, Bélgica) em cerca de 1.000 fatias, respeitando os limites anatômicos das amostras necessários para as análises futuras. As imagens 2D reconstruídas foram visualizadas e sobrepostas no software Dataviewer (versão 1.5.1.2, Skyscan, Bruker, Bélgica) nos três eixos, coronal, sagital e transaxial. Para alinhar as diferentes imagens de preparo e restaurado foi selecionada uma área distante da área afetada pelo processo de contração. O volume da porção radicular do dente que envolve a câmara pulpar foi utilizado como referência. Inicialmente, a imagem do dente preparado (referência)

e a imagem restaurada do dente (alvo) após serem sobrepostas geraram um volume de imagem de diferença (Diff). A imagem Diff significa o volume da deformação de cúspide causado pela contração de polimerização da restauração.

Utilizando o software de análise CTAn (versão 1.13, Skyscan, Bruker, Bélgica), foi selecionado na região de interesse através da binarização (*threshold*), a diferença das imagens 2D sobrepostas. O número de cortes foi o mesmo para todas as imagens Diff analisadas, 600 slices, uma vez que para todas as imagens foi utilizado o mesmo início e fim (*top e bottom*), primeiro slice do *top* sendo acima do início da visualização de ponte de cúspide. Inicialmente, as regiões de interesse (ROI) foram representadas pela figura geométrica do retângulo, posicionadas na mesma área da cúspide onde o extensômetro foi colado na amostra. Na aba *custom processing* foi feita a delimitação do volume da área de interesse (VOI) usada para calcular o volume de diferença entre as cúspides geradas pela contração de polimerização. A mesma análise foi feita para a sobreposição das imagens restauradas do dente. Todas as análises foram realizadas de acordo com a região selecionada. A análise 2D é realizada dentro de um ROI, enquanto o VOI é a soma de todos os ROI's de todos os slices presentes na região selecionada, representando um volume 3D (Figura 10).



**Figura 10** – (A) ROI de retângulo da área de interesse em .diff; (B) Binarização da diferença das imagens obtidas antes e após a restauração; e (C) Binarização do volume total da cúspide.

Após delimitação do ROI, foi realizada a binarização da diferença gerada pela deformação da cúspide após a sobreposição das imagens. Foram, então, escolhidos valores máximos e mínimos para os pixels (*threshold*) na escala de cinza (0-255), onde 0 representa preto e 255 totalmente branco. Para cada grupo foi utilizado uma binarização, respeitando as diferenças entre os dois materiais utilizados. Seguiu-se a binarização de todas as amostras, onde a área

de interesse selecionada era visualizada na cor branca e todo o resto na cor preta. Em seguida, na mesma ferramenta e da mesma maneira, foi realizada a seleção do volume total de cada cúspide.

Os valores de volume de deformação de cúspide foram obtidos em mm<sup>3</sup> e a percentagem desta deformação foi calculada em função do volume total de cada cúspide. Os volumes medidos pelo micro-CT dos dentes preparados e restaurados com *bulk-fill* foram semelhantes para a cúspide vestibular e lingual. No software CT Vol (versão 2.0, Skyscan, Bruker, Bélgica) foram geradas as imagens 3D dos volumes das diferenças de deformação de cúspide causadas pela contração da resina.

#### 3.1.10. Fadiga mecânica

As amostras foram posicionadas em uma cicladora mecânica (Biopdi, São Carlos, SP, Brasil), com um atuador metálico com 6 mm de diâmetro, em angulação de 90° em relação à plataforma oclusal da amostra, tocando apenas a vertentes das cúspides. Uma carga de 50 N foi aplicada com uma frequência de 2Hz por 1,2 milhão de ciclos, estando as amostras dentro de cubas preenchidas por água destilada durante toda o carregamento mecânico. Este número de ciclos equivale a aproximadamente 5 anos de função clínica (18). Após isto, os dentes foram trans-iluminados novamente para detectar a presença ou propagação de trincas.

#### 3.1.11. Teste de resistência a fratura

As amostras foram posicionadas em uma máquina de ensaio universal (MTS Landmark 370.10, Eden Prairie, MN, USA) com uma ponta atuadora de 6 mm de diâmetro ajustada na porção central da face oclusal do molar. Um carregamento de compressão foi realizado até a fratura da amostra, sendo anotado a carga máxima na fratura (Figura 11). O modo de fratura de cada amostra foi classificado em quatro categorias: (I) fraturas envolvendo uma pequena porção da coroa do dente; (II) fraturas envolvendo uma pequena porção da coroa e falha coesiva da restauração; (III) fraturas envolvendo a estrutura dental, falha da restauração coesiva e/ou adesiva, com envolvimento da raiz que pode ser restaurado associado a cirurgia periodontal; (IV) fratura severa da coroa e raiz, sendo necessária a extração dental.



**Figura 11** - Amostra posicionada na máquina de ensaio para teste de resistência à fratura.

#### 3.2.12. Análise Estatística

A normalidade dos dados e homocedasticidade foram verificadas através dos testes de Shapiro-Wilk e Levene, respectivamente. Os dados de deformação de cúspide obtidos na extensometria foram submetidos a Análise de Variância (ANOVA) de duas vias com medidas repetidas para avaliar o efeito dos fatores “protocolo de remoção de cárie” e “localização da trica” na deformação, sendo o último definido como fator de repetição. Para avaliar a extensão das trincas desenvolvidas na estrutura dental, as trincas foram classificadas em maiores ou menores que 3 mm. O número de faces apresentando trincas maiores e menores que 3 mm foi calculado, e o efeito do “protocolo de remoção de cárie” na distribuição das trincas foi avaliado pelo teste Fisher em cada momento de avaliação. O número total de trincas por dente foi calculado, assim como a média de trincas por dente de acordo com o protocolo de remoção de cárie em cada tempo avaliado. O efeito dos fatores “protocolo de remoção de cárie” e o “momento de avaliação” na média de trincas/ dente foi avaliado pelo teste ANOVA de duas vias com medidas repetidas, enquanto o último fator foi definido como fator de repetição. Os dados para a o teste de resistência a fratura foram submetidos ao teste T. Para a deformação de cúspide mensurada através de micro-CT, os dados da deformação volumétrica das cúspides foram analisados pelo teste ANOVA de duas vias. O nível de significância foi de 5% para todas as análises; que foram realizadas utilizando o software SigmaStat v.3.5 (Systat Software Inc., Chicago, IL, USA).

## 4 RESULTADOS

Artigo nas normas do “Journal of Dentistry”.

### **Effect of partial caries removal on biomechanical behavior of class II bulk-fill dental composite restorations**

Short title: Partial caries removal of class II restoration

Paula Fernanda Damasceno Silva<sup>a</sup>; Lais Rani Sales Oliveira<sup>b</sup>; Stella Sueli Lourenço Braga<sup>c</sup>; Cácia Signori<sup>d</sup>; Steve Armstrong<sup>e</sup>; Carlos José Soares<sup>f</sup>; Maximiliano Sérgio Cenci<sup>g</sup>; André Luis Faria-e-Silva<sup>h\*</sup>.

- a) Graduate student; Graduate program in Dentistry, Federal University of Sergipe, Rua Claudio Batista s/n, Sanatorio, Aracaju, SE, Brazil – 49060-100. [paulinha\\_sst@hotmail.com](mailto:paulinha_sst@hotmail.com)
- b) Graduate student; Graduate program in Dentistry, Dental School, Federal University of Uberlândia, Av. Pará 1720, Bloco 4LA, Campus Umuarama, Uberlândia, MG, Brazil - 38400-902. [laisrani@hotmail.com](mailto:laisrani@hotmail.com)
- c) Graduate student; Graduate program in Dentistry, Dental School, Federal University of Uberlândia, Av. Pará 1720, Bloco 4LA, Campus Umuarama, Uberlândia, MG, Brazil - 38400-902. [stellabraga2@hotmail.com](mailto:stellabraga2@hotmail.com)
- d) Graduate student; Graduate program in Dentistry, Dental School, Federal University of Pelotas, Rua Gonçalves Chaves 457, sala 505, Pelotas, RS, Brazil - 96015-560. [caciasignori@gmail.com](mailto:caciasignori@gmail.com)
- e) Professor and Head, Department of Operative Dentistry, College of Dentistry and Dental Clinics, University of Iowa, S-244A Dental Science Building, Iowa City, IA, USA - 52242 [steven-armstrong@uiowa.edu](mailto:steven-armstrong@uiowa.edu)
- f) Professor and chair, Department of Restorative Dentistry, Dental School, Federal University of Uberlândia, Av. Pará 1720, Bloco 4LA, Campus Umuarama, Uberlândia, MG, Brazil - 38400-902. [carlosjsoares@ufu.br](mailto:carlosjsoares@ufu.br)
- g) Professor, Graduate Program in Dentistry, Dental School, Federal University of Pelotas, Rua Gonçalves Chaves 457, sala 505, Pelotas, RS, Brazil - 96015-560. [maximiliano.cenci@ufpel.edu.br](mailto:maximiliano.cenci@ufpel.edu.br)
- h) Professor, Department of Dentistry, Federal University of Sergipe, Rua Claudio Batista s/n, Sanatorio, Aracaju, SE, Brazil – 49060-100. [fariaesilva.andre@gmail.com](mailto:fariaesilva.andre@gmail.com)

\*Corresponding author:

Prof. Dr. André Luis Faria-e-Silva; Programa de Pós-Graduação em Odontologia, Rua Cláudio Batista, s/n, Sanatório, Aracaju, SE, Brazil. CEP 49060-100. Telephone: +55 79 3194-7220. E-mail: [fariaesilva.andre@gmail.com](mailto:fariaesilva.andre@gmail.com)

## **Abstract**

*Objectives:* This study aimed to develop a method to induce carious lesions in the pulpal floor dentin of a class II cavity preparation and determine the effect of this carious lesion on the biomechanical behavior of the dental composite restoration.

*Methods:* The dentin pulpal floor of class I cavities in sound third molars were demineralised with acetic acid for 32 days followed by a 7 day exposure to a pooled human saliva biofilm and verified by micro-CT. The proximal walls were subsequently removed and the caries lesion completely removed or not before restoring the class II cavities with a bulk-fill dental composite (n = 10). Cuspal deflection was assessed by strain-gauge and micro-CT imaging. The presence of enamel cracks was assessed by transillumination before and after restoration and again after mechanical fatigue (5,000,000 of cycles). Finally, resistance to fracture by axial compressive loading and failure mode was determined. Data were analyzed by 2-way repeated measures ANOVA, Fisher`s exact test and T-test ( $\alpha = 0.05$ ).

*Results:* The presence of the caries lesion had no significant effect upon cuspal deflection, presence of enamel cracks and fracture strength of the dental composite restorations. The restorative procedure increased the number of cracks, which was not affected by mechanical cycling.

*Conclusions:* Maintaining the caries lesion under the restoration did not affect the biomechanical behavior of class II restorations performed with bulk-fill dental composite.

*Keywords:* Artificial caries, fracture resistance, caries removal, partial caries removal, selective caries removal, dental composite.

## Introduction

Dental caries must be treated by managing patient risk factors to prevent the development of new lesions and, if caries lesions are not prevented, to arrest and repair early lesions [1,2]. Restorative procedures are indicated when caries lesions become cavitated to: facilitate plaque control, protect the dentin-pulp complex, and restore form, function, and esthetics of the teeth [3,4]. Complete carious dentin removal has long been advocated prior to insertion of the restorative materials, amongst other reason, to avoid any possible deleterious effect of remaining carious tissue on restoration longevity [5]. This concept came from restorations performed using non-adhesive materials such as amalgam, where the presence of sound and thick hard dental tissue in the internal cavity walls was required to support the restoration. Since the remaining dental structures can be reinforced by adhesive procedures, the removal of all carious dentin may not be necessary to assure the longevity of the dental composite restorations [6]. In fact, in the presence of extensive lesions involving the inner third of dentin, the maintenance of deeper soft dentin reduces the risk of pulp exposure [7-9], avoiding increased complexity and treatment cost [10,11].

Partial or incomplete carious lesion removal techniques remove the outer infected softer dentin, which presents significant degradation of the collagen fibrils network, and maintain the inner affected dentin presenting structural characteristics that allows its remineralization [7,9,12-15]. After some waiting period to permit the formation of reparative and tertiary dentin, the cavity can be reopened to remove the remaining carious dentin (so-called step-wise caries removal). However, the reopening procedure may result in pulpal exposure or damage to the surrounding tissue [8,14,16-18]. On the other hand, it has been demonstrated that maintaining the caries lesion under the dental composite restoration increases the likelihood pulpal sensibility preservation [15,18]. Nonetheless, clinicians have expressed concern that the presence of less-mineralized softer dentin under the dental composite restoration could reduce the clinical longevity [19].

Further to reduce the risk of pulpal complications, a recent systematic review of controlled clinical trials showed that incomplete caries did not affect the failure rate of the restorations when compared to restorations built-up after complete caries removal [8]. However, most of studies included in that review presented a follow-up time no longer than 2 years, which may be insufficient to assess the effectiveness of restorative procedures [20], and the partial caries removal was mainly performed in deciduous teeth. A study with longer follow-up (10-years) demonstrated similar longevity of dental composite restorations built-up



over caries-affected dentin and amalgam restorations after complete caries removal [12]. Therefore, the possible effects of incomplete caries removal on biomechanical behavior of dental composite restorations has not yet been fully established.

In fact, clinical trials with longer follow-up are difficult and expensive. Moreover, it is difficult in clinical trials to standardize cavity dimensions, therefore, large sample sizes are required. The present study aimed to 1) develop a method of dentin pulpal floor caries lesion induction using an acid challenge followed by a pooled human saliva biofilm exposure model; 2) determine the effect of maintaining softened dentin under dental composite restoration on its biomechanical behavior. The null hypothesis tested was that there is no difference in enamel crack formation, cuspal deflection and fracture strength of bulk-fill dental composite class II restorations with either complete or partial caries removal.

## **Material and Methods**

### *Sample size calculation*

Sample size calculation was carried out only for the fracture resistance since this was operationally defined as a primary outcome. Calculation was based on data from a previous study that evaluated the fracture resistance of Class II dental composite restorations [21]. The coefficient of variation from fracture resistance was calculated for all experimental conditions, while the average (0.22) was used to sample size calculation of present study. We considered a minimum detectable difference in means of 0.30, power test of 0.8, and  $\alpha = 0.05$ , for two experimental groups to be submitted to *t*-test. The calculation was performed using the statistical software SigmaStat v.3.5 (Systat Software Inc., Chicago, IL, USA) and sample size required was determined to be  $n=10$ .

### *Teeth selection*

Twenty third sound molars were selected based on their dimensions and shape. Prior to teeth selection, the largest mesio-distal and buccal-lingual crown dimensions were measured using a digital caliper (Digimess, São Paulo, SP, Brazil). The average of crown dimensional area and standard deviation were calculated and teeth with coronal dimensions higher or lower than on standard deviation were replaced. The teeth were randomly allocated into the two experimental conditions seeking to eliminate any difference regarding dimensions and number and shape of roots.

### *Cavity preparation*

A round diamond bur (#1014, KG Sorensen, Barueri, SP, Brazil) was introduced 2-mm deep relative to the deepest occlusal fissure. A cylindrical diamond bur (#3099, KG Sorensen, Barueri, SP, Brazil) was then used to enlarge the cavity to obtain a class I cavity of 4-mm length and 2-mm width. The burs were replaced after five cavity preparations.

#### *Caries induction*

The lateral cavity walls were hybridized with a self-etching universal adhesive (Adper Universal, 3M ESPE, St. Paul, MN, USA). The pulpal floor was not covered by the adhesive resin. The external surfaces of teeth were covered with nail polish prior to demineralization of dentin from pulpal floor. The teeth were then stored in demineralising solution (acetic acid 0.05M) for 32 days. This time was defined by preliminary study. The demineralising solution was replaced every day and pH of solution (around 3.5) was monitored daily and adjusted if necessary using NaOH 10 M. In an effort to produce a caries lesion similar to that observed clinically, the demineralized the dentin pulpal floor was then exposed to a pooled human saliva biofilm for 7 days following the protocol described in prior study [22]. Images obtained in a micro computed tomography (Micro-CT; SkyScan, Bruker, Kontich, Belgium) were used to confirm the depth of lesion – Figure 1. The scanning parameters used were 100 kV, 100  $\mu$ A, 2 s of exposure, with a 0.11-mm thick copper filter and a rotational angle of 0.4, resulting in approximately 1,000 slices per specimen.

#### *Periodontal ligament simulation*

To simulate the periodontal ligament, tooth roots were covered with melted wax up to the cementum-enamel junction and inserted into non-polymerized acrylic resin cylinders. After resin polymerization, the roots were removed from the artificial tooth socket and the wax was removed from the roots. Polyether impression material (Impregum, 3M ESPE, St. Paul, MN, USA) was then inserted into the artificial tooth socket and the roots of the tooth were re-introduced into the resin cylinders and the excess polyether was removed [23].

#### *Caries removal procedures*

The softened dentin of pulpal floor was manually removed with an excavator in the specimens allocated to the complete (non-selective) caries removal group. The removal procedure was performed until to obtain a hard and dry remaining dentin. On the other hand, no caries removal was performed for specimens allocated to partial (selective) caries removal group. The proximal walls were then removed with a diamond bur (#3099, KG Sorensen, Barueri, SP, Brazil) to produce the final class II cavities. Prior to dental composite restoration

the buccal and lingual cusps were inspected for the presence of cracks by transillumination (Photonita, P1050, Florianópolis, SC, Brazil), over the occlusal surface of the tooth [24]. The images of the specimens were captured at 1.5x magnification under standardized conditions (Nikon D60 with a Nikkor 105 mm macro lens, Chiyoda, Tokyo, Japan) and the cracks were analyzed using the software ImageJ (National Institutes of Health, Bethesda, MD, EUA). Cracks were categorized as: (I) no cracks visible, (II) visible cracks smaller than 3 mm, and (III) visible cracks larger than 3 mm. Additionally, three specimens of each experimental condition were randomly selected to measure the cuspal deformation using a micro-CT scanner using the same parameters described previously.

#### *Restorative procedures and cusp deformation*

Enamel was selectively etched using 37% phosphoric acid (Fusion Duralink 37%, Angelus, Londrina, PR, Brazil), rinsed and dried. Proximal matrices were positioned and stabilized with wedges using a custom device containing two adjacent teeth. Strain gauges (PA-06-060-350L, Excel Sensores, Embú, SP, Brazil) were fixed on the external surface of buccal and lingual cusps at the level of the class II cavity floor to measure cuspal deformation due to polymerization shrinkage [24]. The strain gauges used had an internal electrical resistance of 350  $\Omega$ , a gauge factor of 2.07, and a grid size of 21.02 mm<sup>2</sup>. Two additional strain gauges were fixed to an additional control tooth with the same cavity preparation to compensate for temperature effects. The strain gauges were bonded with cyanoacrylate-based adhesive (Super Bonder, Loctite, Itapeví, SP, Brazil) and connected to a data acquisition device (ADS2000; Lynx, São Paulo, SP, Brazil).

The adhesive procedures were performed using a universal adhesive (Adper Universal) applied to all cavity walls and light-cured for 20 s. In complete (non-selective) caries removal specimens the pulpal floor was covered with a thin layer of resin modified glass ionomer Vitrebond (3M ESPE dental Product, St Paul, MN) simulating a pulpal protection and light cured for 20s. All cavities were restored with Filtek Bulk-Fill Posterior (3M ESPE dental Product, St Paul, MN) dental composite in a single-increment (no more than 5.0 mm in depth). The composite light-activation was performed with two 20s light-curing procedures: a LED tip positioned over the mesial and distal occlusal areas. A polywave LED Valo Cordless (Ultradent, South Jordan, UT, USA) was used for all light-curing procedures. The cuspal strains were acquired at 4Hz during the restoration procedures and up to 10 min after light-cure the dental composite (AqDados 7.02 and AqAnalisis data acquisition software; Lynx).

An additional molar with a class II preparation and of similar dimensions was imbedded in acrylic resin cylinder and prepared with only the lateral walls remaining and used to estimate the incident irradiance reaching the adhesive and bottom of dental composite. This molar was positioned over a sensor of a portable spectrometer-based instrument (MARC Resin Calibrator; BlueLight Analytics, Halifax, NS, Canada) and the tip of LED was positioned over the cusps simulating the procedures performed to light-cure the dental adhesive and composite. Measurements were recorded with and without the cavity filled with dental composite.

Upon completion of the restorative procedures the enamel cracks were re-assessed as previously described as were the micro-CT specimens for cuspal deformation [25]. The NRecon (Nrecon 1.6.10.1, Skyscan, Bruker, Belgium) software was used to reconstruct the images issued from the micro-CT scanner. The reconstructed 2D images were visualized and overlaid on the Dataviewer software (version 1.5.1.2, Skyscan, Bruker, Belgium) on all three axes, coronal, sagittal and transaxial. The volume of the root portion of the tooth surrounding the pulpal chamber was used as a reference. The cusp deformation volume values were obtained in mm<sup>3</sup> and the percentage of this deformation was calculated as a function of the total volume of each cusp. In the CT Vol software (version 2.0, Skyscan, Bruker, Belgium) tridimensional images were generated from the volumes of the cusp shape differences caused by dental composite shrinkage. The specimens were stored in absolute humidity at 37 °C.

#### *Mechanical cycling test*

Upon completion of the cuspal strain measurements, the specimens were submitted to mechanical fatigue using a chewing simulator while continuously immersed in 37 °C water (Biocycle, Biopdi, São Paulo, SP, Brazil). An 8-mm diameter stainless steel sphere was positioned on the occlusal surface to simultaneously contact both lingual and buccal cusps and submitted to 1,200,000 cycles with axial compressive loading ranging from 0 to 50 N at 2 Hz. After the completion of mechanical cycling, the enamel cracks were again assessed as previously described.

#### *Fracture resistance and fracture mode*

The fracture resistance was assessed by application of axial compressive loading on the occlusal surfaces of specimens with an 8 mm stainless-steel sphere at a crosshead speed of 0.5 mm/min in a universal testing machine (MTS Landmark 370.10, MTS Systems Corporation, Eden Prairie, MN, USA) until specimen fracture. The load required to cause

fracture of specimens was recorded in Newtons. The fracture modes of each specimen were assigned to one of four categories [24]: (I) fractures involving a small portion of the coronal tooth structure; (II) fractures involving a small portion of the coronal tooth structure and cohesive failure of the restoration; (III) fractures involving the tooth structure, cohesive and/or adhesive failure of the restoration, with root involvement that were deemed restorable; and (IV) severe root and crown fracture, which were deemed non-restorable.

### *Statistical analyses*

Data of cuspal deformation were submitted to 2-way Repeated Measure ANOVA to evaluate the effect of factors “caries removal protocol” and “cusp location” on deformation, while the latter factor was defined as repetition factor. In order to evaluate the extension of cracks developed in the tooth structures, the cracks were classified as shorter or longer than 3 mm. Therefore, the number of faces presenting short and long cracks were calculated by “caries removal protocol” and “assessment time”; and the proportions for each protocol were compared by Fisher Exact Test at each assessment time. The total number of cracks per tooth was calculated as well the average of cracks/tooth per caries removal protocol in each assessment time. Data were submitted 2-way Repeated Measure ANOVA to assess the effect of factors the “caries removal protocol” and the “assessment time”, while the last factor was defined as repetition factor. Data of fracture strength test were submitted to *t*-test. For the cuspal deformation assessed by micro-CT, data of volumetric deformation of cusps were analyzed by 2-way ANOVA. The significance level was set at  $\alpha = 0.05$  for all tests; which were performed using the SigmaStat v.3.5 statistical software package (Systat Software Inc., Chicago, IL, USA).

## **Results**

The simulation of light-activation performed in the spectrometer demonstrated a total radiant exposure to polymerize the adhesive ranged from 18 J/cm<sup>2</sup> in proximal areas to 23.6 J/cm<sup>2</sup> in the center of cavity – Figure 2. On the other hand, the total radiant exposure available to polymerize the bottom of dental composite was around 3.6 J/cm<sup>2</sup>, irrespective of location.

Table 1 presents the results of enamel cracks. No differences among the ratios of faces presenting short and long cracks were observed irrespective of assessment time. For the average of cracks by tooth, statistical analysis showed that only the factor “assessment time” ( $P < 0.001$ ) affected the number of cracks, whereas “caries removal protocol” ( $P = 0.635$ ) and

the interaction ( $P = 0.231$ ) were not significant. Lower number of crack were observed prior to restoration, and no difference was found between the number of cracks visualized after the restoration and after the fatigue cycling.

For data of cuspal deformation by strain-gauges, statistical analysis showed no significant effect for “caries removal protocol” ( $p = 0.697$ ), “cusp position” ( $P = 0.808$ ), with no significant interaction ( $P = 0.442$ ) - Figure 3. Similar results were observed using micro-CT images: “caries removal protocol” ( $p = 0.947$ ), “position of cusp” ( $p = 0.234$ ) did not affect the cuspal deformation, while interaction between the factors was also not significant ( $p = 0.673$ ) – Figure 4.

The protocol of caries removal also had no effect on the fracture strength of restorations ( $P = 0.600$ ) – Table 2. Higher incidence of failures type I was observed for partial caries removal, while complete caries removal resulted in more failure type II and III.

## **Discussion**

Incomplete or selective removal of deep carious lesions is associated with reduced risk to pulpal damage and may be more cost-effective than complete removal or step-wise excavation (1,11). Despite the available evidence demonstrating the advantages of incomplete or selective caries lesion removal [6-12, 14,15,18] some clinicians avoid this approach in their clinical practice due to the belief that this will lead to reduced restoration longevity. In fact, prior studies have associated increasing depth of cavity preparation with significantly lower fracture resistance of restorations [25-27]. The rationale is that the compressive vertical loading is modified to tensile stress over the pulpal walls, increasing the likelihood of deep cuspal fracture with increasing cavity depth [28]. The results of the current study demonstrated that maintaining the carious affected softened dentin under the dental composite restoration had no significant affect upon enamel crack development, cuspal deformation, and restoration fracture strength. Therefore, we failed to reject the null hypothesis that there is no difference in biomechanical behaviour between bulk-fill dental composite class II restorations with either complete or partial caries removal.

Despite the importance of clinical evaluations, in-vitro studies allow one to isolate and analyze individual factors that may affect the longevity of restorations. In the present study, we selected molars with similar dimensions and prepared standardized cavity preparations, while the protocol of carious lesions induction sought to standardize the extension and depth of lesions. Therefore, the experimental design aimed to evaluate only the caries removal

protocol on biomechanical behavior of restoration. Acid solutions produce lesions in dentin by removing its mineral content [29,30]; however, also using a biofilm culture may better resemble natural caries lesions [31]. In the present study, the methodology simulated the caries process in vivo in the sense that both acid (32 days acetic acid) and protease (7 days human saliva) challenge was employed [29,31].

To induce carious lesions limited to the pulpal floor dentin the surrounding walls were covered with dental adhesive resin and the Class II preparation was completed subsequent to the artificial caries lesion formation. The carious lesions were confirmed using micro-CT images that showed lesions limited to pulpal floor dentin with an approximate thickness of 1.0 mm and in close proximity to the pulpal chamber. This represents the conditions upon which selective removal to soft dentin in the central area would be performed in the modern caries management of the extensive lesion [1]. In this research design, no additional caries removal was required for specimens allocated to partial (selective) caries removal group. In contrast, the complete (non-selective) caries removal protocol, the hardness criteria were adopted to define the end point during the carious dentin removal [1]. The softened dentin was manually removed using an excavator until obtaining a hard and dry remaining dentin. We chose to apply a thin layer of glass ionomer cement covering the remaining dentin after complete carious dentin removal to simulate common clinical procedure [32]. On the other hand, dental composite was placed directly over the demineralized dentin for the partial (selective) carious removal protocol since thicker dentin layer remains between the pulp chamber and restoration.

A class II preparation was studied in order to increase the biomechanical challenge as the reduction in marginal ridge integrity is known to increase cuspal deflection [33]. A bulk-fill dental composite was used to reduce any possible bias related to incremental insertion of dental composite. According to the manufacturer, increments can be placed up to 5 mm in thickness, therefore, in the present study, the cavity could be filled in a single increment. An important concern regarding bulk fill dental composite restoration is the ability of light to reach the bottom of dental composite [24]. In fact, low values of radiant exposure ( $3.6 \text{ J/cm}^2$ ) were expected to reach the bottom of dental composite as measured under simulated conditions. Despite low values of conversion on bottom of bulk-fill dental composites as has been reported in other studies [35,36], the clinical significance of any reduced mechanical properties at the bottom of dental composite is not yet available.

Effects of dental composite shrinkage on cuspal deformation were assessed by strain gauges in real time in the present study. Shrinkage stress depends on dental composite volumetric shrinkage, elastic modulus of materials and cavity compliance [36]. Completely removing the carious dentin increases the depth of cavity, therefore a relatively larger dental composite volume would be required after complete caries removal. However, the placement of a glass ionomer liner with low elastic modulus (around 1.1 GPa) favors the stress dissipation and reduces the total volume of dental composite [36]. On the other hand, the presence of more resilient caries-affected dentin under the restoration after partial caries removal may also favor stress dissipation. Similar values of cuspal deformation were observed between the caries removal protocols evaluated. The total cuspal deformation was also assessed by comparing micro-CT images acquired before and after restorative procedures. Prior studies have used micro-CT images to analyze the volumetric dental composite shrinkage restoring cavities by calculating the reduction on material volume [37,38], while the same rationale was used in the present study. An important concern in methodology was to determine a reference point to accurately superpose the images; the tooth roots were used since no volumetric change was expected to occur in these structures. Again, no difference between caries removal protocols on cuspal deformation was observed using micro-CT methodology, corroborating the results of strain gauge measurements.

An important consequence of cuspal deformation is the possible generation and propagation of enamel cracks. As evaluated with transillumination, 70-80% of tooth faces presented with cracks prior to restorations, with a slight increase in number of involved faces after restoration placement and after fatigue loading. The development of cracks may be largely related to cavity preparation since extensive cavities were used; however, it is also possible that cracks might have occurred during tooth extraction. Despite the slight increase in number of tooth faces with cracks, no difference between the caries removal protocols was observed irrespective of the assessment time. Likewise, the protocol of caries removal also had no effect upon on average of cracks per tooth. However, a statistically significant increase in cracks was observed after restoration procedures due to dental composite shrinkage stress while fatigue loading had no effect on crack development. It could be speculated that the presence of demineralized dentin layer with a reduced elastic modulus allows higher strain of tooth structure with subsequent crack development [19]. On the other hand, fatigue cycling using low axial compressive loading was not able to propagate the enamel cracks. This may be due to adhesive interfacial failure during dental composite



shrinkage which relieves cuspal stress. The number of fatigue cycles used in this study simulates five years of clinical function [39] which was unable to significantly increase the number of cracks, extension of cracks, or yield any significant changes on clinical parameters of restoration fracture or large marginal gaps.

Finally, the protocol of caries removal also had no effect on the ultimate fracture strength of restored teeth. A prior in-vitro study using natural deep caries lesions in molars found the partial caries removal protocol reduced the fracture strength of class I composite restorations [19]. On the other hand, another study induced deep or shallow carious lesions in premolars using acid solutions and did not find a difference in fracture strength of class II dental composite restorations after removing or not removing this demineralized dentin [40]. These conflicting results can be explained by differences in extent and depth of carious lesions, cavity configurations, and type of teeth. In the present study, a caries induction protocol was used to produce deep standardized lesions restricted to the central pulpal dentin; and our results are according to that prior study using artificially induce caries lesion [40]. Another important observation, verified in the present study was that specimens with partial caries removal presented higher incidence of fracture involving only a small portion of coronal tooth structure, while cohesive restoration failures were predominant after complete caries removal. The presence of softer tissue for partial caries removal may explain this difference. Upon loading, the softer tissue allows higher dislodgment of restoration resulting in fracture of adjacent tooth structure.

Although we attempted to create caries lesions close to that observed in nature through the use of acid and biofilm exposure [28-31], the results of present study must be carefully evaluated. Clinically, between the bottom of the restoration and the pulp cavity, caries-affected dentin can be re-mineralized, sclerotic dentin can be formed, and tertiary dentin can be formed. However, even with the limitations of present study, maintaining caries lesion under the restoration did not affect cuspal deformation, crack formation or propagation, nor fracture strength of the restored tooth. Therefore, the partial caries removal protocol seems to be a feasible approach when restoring deep carious lesions with adhesive dental composite.

## Acknowledgement

The present study was carried out with the support of the Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel - CAPES/PROCAD, Brazil. P.D.S. is grateful to CAPES for her scholarship.

## References

- [1] F. Schwendicke, J.E. Frencken, L. Bjørndal, M. Maltz, D.J. Manton, D. Ricketts, K. Van Landuyt, A. Banerjee, G. Campus, S. Doméjean, M. Fontana, L. Leal, E. Lo, V. Machiulskiene, A. Schulte, C. Splieth, A.F. Zandona, N.P. Innes, Managing carious lesions: consensus recommendations on carious tissue removal, *Adv. Dent. Res.* 28 (2016) 58-67.
- [2] C. Llana, E. Calabuig, Risk factors associated with new caries lesions in permanent first molars in children: a 5-year historical cohort follow-up study, *Clin. Oral. Investig.* <https://doi.org/10.1007/s00784-017-2253-5>.
- [3] E.A.M.Kidd, How clean must a cavity be before restoration? *Caries Res.* 38 (2004) 306-313.
- [4] Y. Momoi, M. Hayashi, M. Fujitani, M. Fukushima, S. Imazato, T. Nikaito, A. Shimizu, M. Unemori, C. Yamaki, Clinical guidelines for treating caries in adults following a minimal intervention policy - evidence and consensus based report, *J. Dent.* 40 (2012) 95-105.
- [5] A. Banerjee, S. Doméjean, The contemporary approach to tooth preservation: minimum intervention (MI) caries management in general practice, *Prim. Dent. J.* 2 (2013) 257-266.
- [6] P.V. Soares, P.C. Santos-Filho, L.R. Martins, C.J. Soares, Influence of restorative technique on the biomechanical behavior of endodontically treated maxillary premolars. Part I: fracture resistance and fracture mode, *J. Prosthet. Dent.* 99 (2008) 30-37.
- [7] M. Maltz, J.J. Jardim, H.D. Mestrinho, P.M. Yamaguti, K. Podestá, M.S. Moura, L.M. de Paula, Partial removal of carious dentine: a multicenter randomized controlled trial and 18-month follow-up results, *Caries Res.* 47 (2013) 103-109.
- [8] F. Schwendicke, C.E. Dörfer, S. Paris, Incomplete caries removal: A systematic review and meta-analysis, *J. Dent. Res.* 94 (2013) 306-314.
- [9] R. Frazon, N.J. Opdam, L.F. Guimarães, F.F. Demarco, L. Casagrande, A.N. Hass, Randomized controlled clinical trial of the 24-months survival of dental composite

restorations after one-step incomplete and complete excavation on primary teeth, *J. Dent.* 45 (2015) 1235-1241.

[10] F. Schwendicke, S. Paris, M. Stolpe. Cost-effectiveness of caries excavations in different risk groups - a micro-simulation study, *BMC Oral Health.* 14 (2014) 153.

[11] F. Schwendicke, M. Stolpe, H. Meyer-Lueckel, S. Paris, C.E. Dörfer. Cost-effectiveness of one- and two-step incomplete and complete excavations, *J. Dent. Res.* 92 (2013) 880-887.

[12] M. Maltz, L.S. Alves, J.J. Jardim, M.S. Moura, E.F. de Oliveira. Incomplete caries removal in deep lesions: a 10-year prospective study, *Am. J. Dent.* 24 (2011) 211-214.

[13] L.E. Bertassoni, S. Habelitz, S.J. Marshall, G.W. Marshall. Mechanical recovery of dentin following remineralization in vitro - an indentation study, *J. Biomech.* 44 (2011) 176-181.

[14] M. Maltz, R. Garcia, J.J. Jardim, L.M. de Paula, P.M. Yamaguti, M.S. Moura, F. Garcia, C. Nascimento, A. Oliveira, H.D. Mestrinho. Randomized trial of partial vs. stepwise caries removal: 3-year follow-up, *J. Dent. Res.* 91 (2012) 1026-1031.

[15] M. Maltz, L.S. Alves. Incomplete caries removal significantly reduces the risk of pulp exposure and post-operative pulpal symptoms, *J. Evid. Based. Dent. Pract.* 13 (2013) 120-122.

[16] L. Bjørndal, A. Thylstrup. A practice-based study on stepwise excavation of deep carious lesions in permanent teeth: a 1-year follow-up study, *Community Dent. Oral. Epidemiol.* 26 (1998) 122-128.

[17] M.A. Pereira, R.B.D. Santos-Júnior, J.A. Tavares, A.H. Oliveira, P.C. Leal, W.M. Takeshita, A.M. Barbosa-Júnior, L.E.B. Bertassoni, A.L Faria-E-Silva. No additional benefit of using a calcium hydroxide liner during stepwise caries removal: A randomized clinical trial, *J. Am. Dent. Assoc.* 148 (2017) 369-376.

[18] R. Brignardello-Petersen, Stepwise and partial caries removal probably have high success rates up to 3 years after treatment of deep carious lesions, but partial caries removal is more likely to preserve tooth vitality, *J Am Dent Assoc.* 148 (2017).

[19] M.A. Hevinga, N.J. Opdam, J.E. Frencken, G.J. Truin, M.C. Huysmans. Does incomplete caries removal reduce strength of restored teeth? *J. Dent. Res.* 89 (2010) 1270-1275.

- [20] Á. Ástvaldsdóttir, J. Dagerhamn, J.W. van Dijken, A. Naimi-Akbar, G. Sandborgh-Englund, S. Tranæus, M. Nilsson. Longevity of posterior resin composite restorations in adults - A systematic review, *J. Dent.* 43 (2015) 934-954.
- [21] E. Kucukyilmaz, B. Yasa, M. Akcay, S. Savas, F. Kavrik. Effects of pulp capping materials on fracture resistance of Class II composite restorations, *Eur. J. Dent.* 9 (2015) 218-223.
- [22] T.T. Maske, C.P. Isolan, F.H. Van de Sande, A.C. Peixoto, A.L. Faria-E-Silva, M.S. Cenci, R.R. Moraes. A biofilm cariogenic challenge model for dentin demineralization and dentin bonding analysis, *Clin. Oral. Investig* 19 (2015) 1047-1053.
- [23] C.J. Soares, E.C. Pizi, R.B. Fonseca, L.R. Martins. Influence of root embedment material and periodontal ligament simulation on fracture resistance tests, *Braz. Oral Res.* 19 (2005) 11-16.
- [24] C.M. Rosatto, A.A. Bicalho, C. Veríssimo, G.F. Bragança, M.P. Rodrigues, D. Tantbirojn, A. Versluis, C.J. Soares. Mechanical properties, shrinkage stress, cuspal strain and fracture resistance of molars restored with bulk-fill composites and incremental filling technique, *J. Dent.* 43 (2015) 1519-1528.
- [25] G. Plotino, L. Buono, N.M. Grande, V. Lamorgese, F. Somma. Fracture resistance of endodontically treated molars restored with extensive composite resin restorations, *J. Prosthet. Dent.* 99 (2008) 225-232.
- [26] F.K. Cobankara, N. Unlu, A.R. Cetin, H.B. Ozkan. The effect of different restoration techniques on the fracture resistance of endodontically-treated molars, *Oper. Dent.* 33 (2008) 526-533.
- [27] M. Maltz, E.F. Oliveira, V. Fontanella, G. Carminatti. Deep caries lesions after incomplete dentine caries removal: 40-month follow-up study, *Caries Res.* 41 (2007) 493-496.
- [28] V.K Goel, S.C. Khera, S. Gurusami, R.C.S Chen. Effect of cavity depth on stresses in a restored tooth. *J. Prosthet. Dent.* 67 (1992) 174-183.
- [29] F. Schwendicke, K. Eggers, H. Meyer-Lueckel, C. Dörfer, A. Kovalev, S. Gorb, Paris S. In vitro Induction of residual caries lesions in dentin: comparative mineral loss and nano-hardness analysis, *Caries Res.* 49 (2015) 259-265.

- [30] Y.C. Chien, A.K. Burwell, K. Saeki, A. Fernandez-Martinez, M.K. Pugach, G. Nonomura, S. Habelitz, S.P. Ho, M. Rapozo-Hilo, J.D. Featherstone, S.J. Marshall, G.W. Marshalla. Distinct decalcification process of dentin by different cariogenic organic acids: Kinetics, ultrastructure and mechanical properties, *Arch. Oral. Biol.* 63 (2016) 93-105.
- [31] F. Schwendicke, C. Dörfer, S. Kneist, H. Meyer-Lueckel, S. Paris. Cariogenic effects of probiotic *Lactobacillus rhamnosus* GG in a dental biofilm model, *Caries Res.* 48 (2014) 186–192.
- [32] K.C.S. Modena, L.C. Casas-Apayco, M.T. Atta, C.A.S. Costa, J. Hebling, C.R. Sipert, M.F.L. Navarro, C.F. Santos, Cytotoxicity and biocompatibility of direct and indirect pulp capping materials, *J. Appl. Oral Sci.* 17 (2009) 544–554.
- [33] A.A. Suliman, D.B. Boyer, R.S. Lakes. Interferometric measurements of cusp deformation of teeth restored with composites, *J. Dent. Res.* 72 (1993) 1532-1536.
- [34] B.M. Fronza, F.A Rueggeberg, R.R. Braga, B. Mogilevych, L.E. Soares, A.A. Martin, G. Ambrosano, M. Giannini. Monomer conversion, microhardness, internal marginal adaptation, and shrinkage stress of bulk-fill resin composites, *Dent. Mater.* 31 (2015) 1542-1551
- [35] A.F. Reis, M. Vestphal, R.C.D. Amaral, J.A. Rodrigues, J.F. Roulet, M.G. Roscoe. Efficiency of polymerization of bulk-fill composite resins: a systematic review, *Braz. Oral. Res.* 31 (2017) e59.
- [36] C.J. Soares, A.L. Faria-E-Silva, M.P. Rodrigues, A.B.F. Vilela, C.S. Pfeifer, D. Tantbirojn, A. Versluis. Polymerization shrinkage stress of composite resins and resin cements - What do we need to know? *Braz. Oral. Res.* 31 (2017) e62.
- [37] A. Van Ende, E. Van de Castele, M. Depypere, J. De Munck, X. Li, F. Maes, M. Wevers, B. Van Meerbeek. 3D volumetric displacement and strain analysis of composite polymerization, *Dent. Mater.* 31 (2015) 453-461.
- [38] R. Hirata, E. Clozza, M. Giannini, E. Farrokhanesh, M. Janal, N. Tovar, E.A. Bonfante, P.G. Coelho. Shrinkage assessment of low shrinkage composites using micro-computed tomography, *J. Biomed. Mater. Res. B Appl. Biomater.* 103 (2015) 798-806.
- [39] M. Kern, J.R. Strub, X.Y. Lu. Wear of composite resin veneering materials in a dual-axis chewing simulator, *J. Oral. Rehabil.* 26 (1999) 372-378.
- [40] F. Schwendicke, M. Kern, H. Meyer-Lueckel, A. Boels, C. Doerfer, S.S. Paris. Fracture resistance and cuspal deflection of incompletely excavated teeth, *J. Dent.* 42 (2014) 107-113.

**Table 1.** Frequency and extension of cracks according to caries removal protocol.

Outcome	Protocol of caries removal	Cracks					
		Prior to restoration		After restoration		After fatigue loading	
		< 3mm	> 3 mm	< 3mm	> 3 mm	< 3mm	> 3 mm
Number of tooth faces presenting cracks longer and shorter than 3 mm (n=20)	Partial	9	5	10	6	9	8
	Total	9	7	8	11	8	12
	P-value*	0.722		0.315		0.517	
Means (standard deviation) of cracks per tooth (n=10)	Partial	3.2 (1.7)		4.6 (2.3)		5.2 (2.3)	
	Total	3.4 (2.3)		4.0 (2.4)		4.3 (2.2)	
	Pooled average	3.3 (1.9) <sup>B</sup>		4.3 (2.3) <sup>A</sup>		4.8 (2.3) <sup>A</sup>	

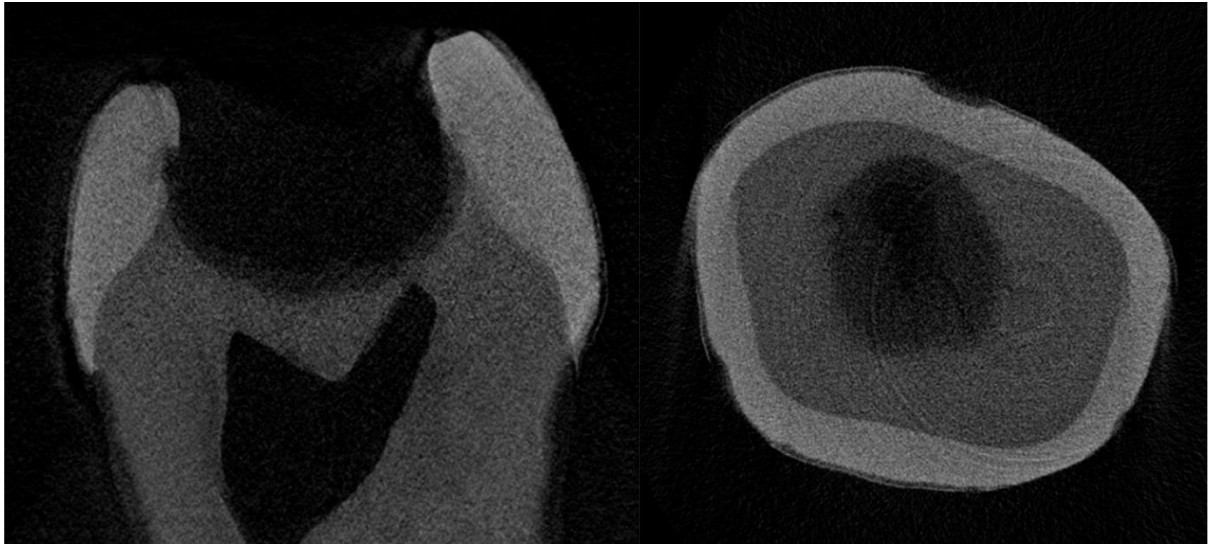
\* Fisher Exact Test. For pooled average, distinct letters indicate statistical difference ( $P < 0.05$ ).

**Table 2.** Fracture strength and failure mode according to caries removal protocol (n =10).

Protocol of caries removal	Fracture strength (N)*	Failure mode			
		Type I	Type II	Type III	Type IV
Partial	174.6 (41.1)	7	1	1	1
Total	186.3 (55.4)	3	4	3	0

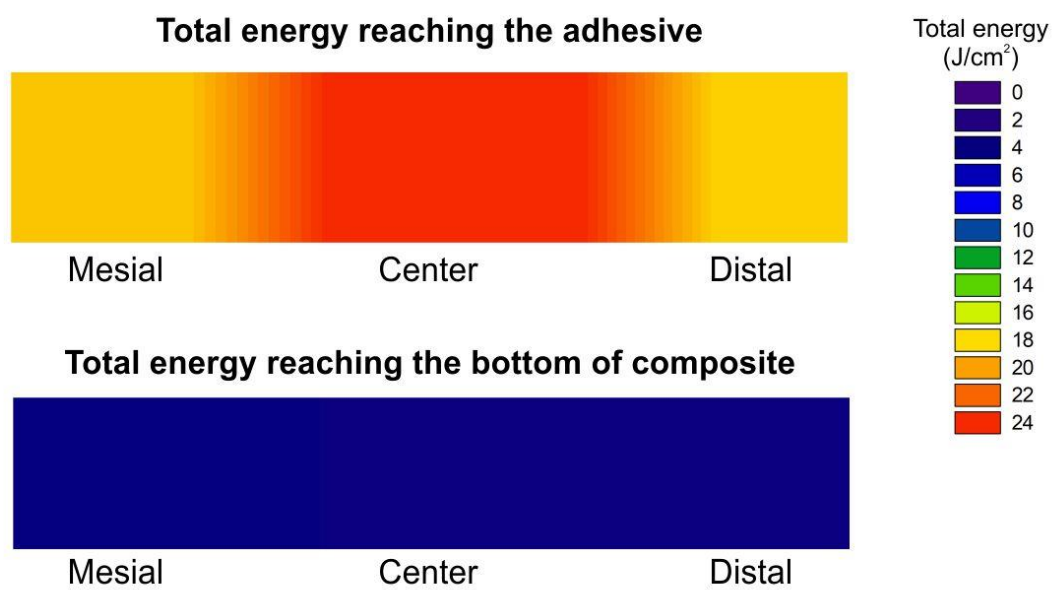
\* p = 0.600; T-test.

I - involving a small portion of the coronal tooth structure; II - involving a small portion of the coronal tooth structure and cohesive failure of the restoration; III - involving the tooth structure, cohesive and/or adhesive failure of the restoration, with root involvement but deemed restorable; and IV - severe root and crown fracture, deemed non-restorable.

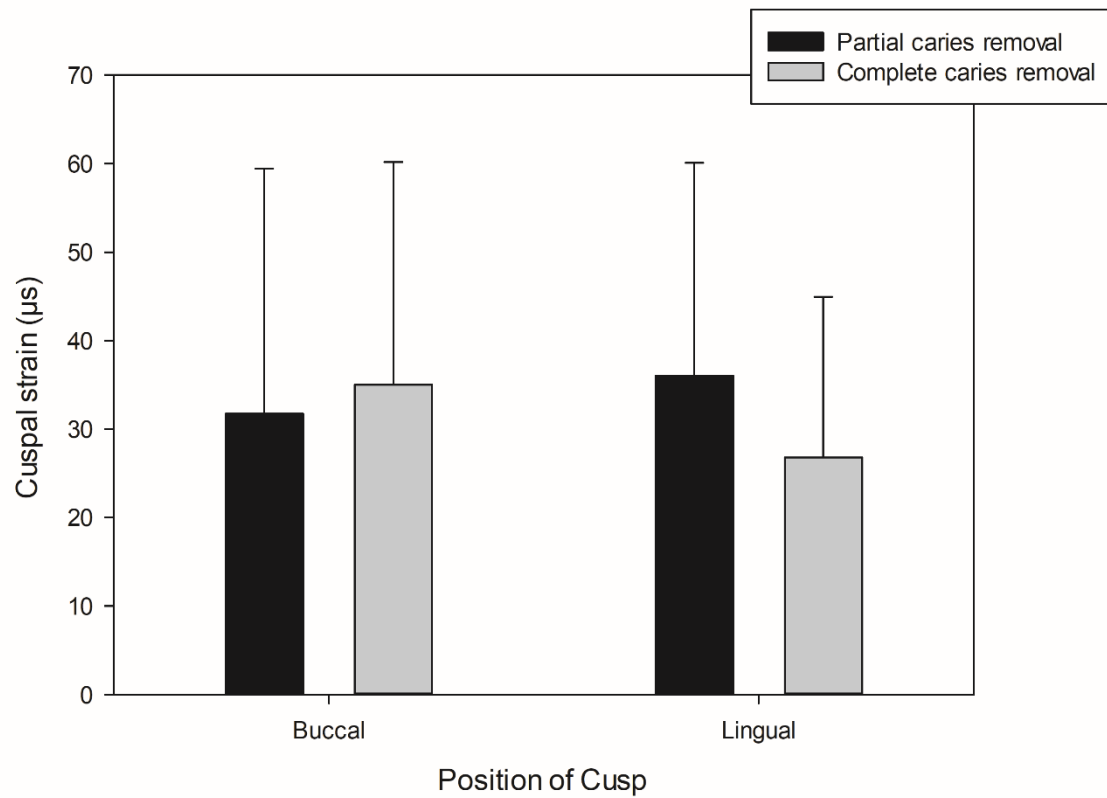


**Figure 1.** Micro computed tomographs demonstrating extensive caries lesion induced on pulpal floor. Left: lateral view, Right: occlusal view.

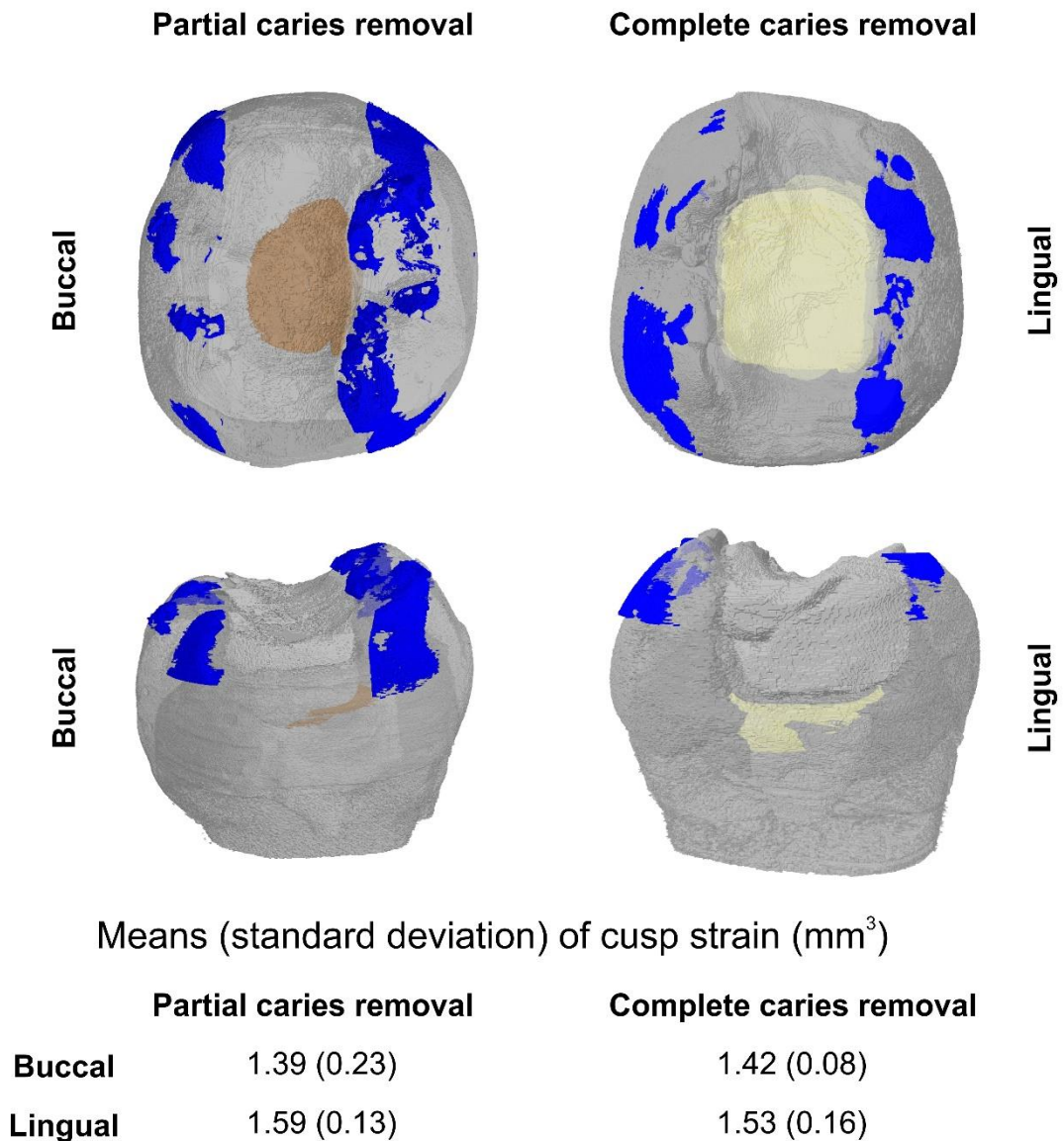




**Figure 2.** Total light energy reaching the sensor of spectrometer under simulated condition of light-activation of dental adhesive and composite.



**Figure 3.** Cuspal deflection measured by strain gauges during the restorative procedures for each cusp according to caries removal protocol. No statistical significant difference was observed regarding the position of cusp ( $p = 0.808$ ) or caries removal protocol ( $p = 0.697$ ).



**Figure 4.** Cuspal deflection of molars caused by composite shrinkage and measured by difference in micro-CT images acquired prior and after restorative procedures. No statistical significant difference was observed regarding the position of cusp ( $p = 0.234$ ) or caries removal protocol ( $p = 0.947$ ). Blue areas correspond to regions where occurred the cuspal displacement. Brown areas indicate the caries-affected dentin in specimens underwent to partial caries removal, and yellow areas correspond to glass ionomer liner placed over the pulpal chamber after complete caries removal.

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A manutenção da dentina afetada pela cárie sob a restauração classe II confeccionada com resina composta “Bulk-fill” não afetou a deformação de cúspide causada pela contração do compósito, e o desenvolvimento de trincas, induzidas tanto pela contração quanto pelo carregamento mecânico. As trincas foram aumentadas principalmente pela contração da resina composta. Finalmente, a resistência à fratura da restauração não foi afetada pela remoção da dentina afetada por cárie.

## **6 COMUNICADO DE IMPRENSA**

Durante o tratamento da cárie dental visamos paralisar a sua evolução. Quando a lesão de cárie se apresenta com cavitações, procedimentos restauradores estão indicados visando devolver a forma, função e estética do dente. A remoção do tecido cariado é usualmente indicada antes da inserção do material restaurador. Este procedimento foi inicialmente proposto para restaurações em amálgama, baseado nas propriedades deste material, mas tem sido seguido até hoje quando se usa materiais com propriedades diferentes, incluindo resina composta. Teoricamente, quando utilizamos restaurações adesivas com resina composta, não há necessidade da remoção completa do tecido cariado, tendo em vista que este material pode reforçar a estrutura dental remanescente através da adesão à esta. A manutenção de parte da dentina cariada sob a restauração pode ser interessante em casos em que a sua remoção completa poderia comprometer a vitalidade dental; o que levaria à necessidade de tratamento de canal. Isso ocorre em lesões cariosas muito profundas e, nestas situações, a remoção parcial de cárie (deixando parte no fundo da cavidade) reduz o risco de danos a polpa., e consequentemente, o custo do tratamento. Apesar desta vantagem, muitos dentistas não realizam este tipo de procedimento com receio que a dentina cariada sob a restauração possa prejudicar o seu desempenho a longo prazo. Estudos clínicos, entretanto, mostram que a remoção incompleta de cárie não prejudica o desempenho da restauração, mas estes envolvem tempo de acompanhamento médio de até 2 anos; que é um período curto para avaliação de restaurações. Assim, uma dissertação desenvolvida no Programa de Pós-Graduação em Odontologia da Universidade Federal de Sergipe buscou avaliar o efeito da remoção parcial de cárie no comportamento mecânico da restauração. Inicialmente, cavidades com lesão cariosa profunda foram produzidas artificialmente e em seguida restauradas com resina composta. Antes da restauração, a cárie era removida ou não; e depois os dentes eram submetidos a carga mecânica simulando a mastigação realizada por até 5 anos. Nenhum dos parâmetros avaliados foi afetado pela remoção de cárie, incluindo a presença de trincas nos dentes (primeiro sinal de risco aumentado de fratura) e a resistência à fratura final do dente restaurado. Dessa forma, o estudo concluiu que manter um tecido afetado por cárie sob a restauração com resina composta não afeta a resistência da restauração.

## 7 REFERÊNCIAS

- 1) Schwendicke F, Frencken EJ, Bjorndal L, Maltz M, Manton DJ, Ricketts D, Van Landuyt K, Banerjee A, Campus G, Doméjean S, Fontana M, Leal S, Lo E, Machiulskiene V, Schulte A, Splieth C, Zandona AF, Innes NPT. Managing carious lesions: Consensus recommendations on carious tissue removal. *Advances in Dental Research* 2016; 28: 58-67.
- 2) Kidd EAM. How clean must a cavity be before restoration?. *Caries Research*. 2004; 38: 306-313.
- 3) Momoi Y, Hayashi M, Fujitani M, Fukushima M, Imazato S, Nikaito T, Shimizu A, Unemori M, Yamaki C. Clinical guidelines for treating caries in adults following a minimal intervention policy - evidence and consensus based report. *J Dent*. 2012; 40: 95-105.
- 4) Banerjee A, Doméjean S. The contemporary approach to tooth preservation: minimum intervention (MI) caries management in general practice. *Prim Dent*. 2013; 2: 257-266.
- 5) Schwendicke F, Mostajaboldave R, Otto I, Dörfer CE, Burkert S. Patients' preferences for selective versus complete excavation: A mixed-methods study. *J Dent*. 2016b; 46: 47-53.
- 6) Soares CJ, Fonseca RB, Gomide HA, Corre-Sobrinho L. Cavity preparation machine for standardization of in vitro preparations. *Braz.Oral Res*. 2008; 22: 281-287.
- 7) Ngo HC, Mount G, Mc Intyre J, Tuisuva J, Von Doussa RJ. Chemical exchange between glass-ionomer restorations and residual carious dentine in permanent molars: An in vivo study. *J Dent*. 2006; 34: 608-613.
- 8) Maltz M, Jardim JJ, Mestrinho HD, PodestáK, Moura MS. Partial removal of carious dentine: a multicenter randomized controlled trial and 18-month follow-up results. *Caries Res*. 2013; 47: 103-109.
- 9) Schwendicke F, Dorfer CE, Paris S. Incomplete caries removal: A systematic review and meta-analysis. *J Dent Res*. 2013; 94: 306-314.

- 10) Frazon R, Opdam NJ, Guimarães LF, Demarco FF, Casagrande L, Hass AN. Randomized controlled clinical trial of the 24-months survival of composite resin restorations after one-step incomplete and complete excavation on primary teeth. *J Dent*. 2015; 45: 1253-1241.
- 11) Bertassoni LE, Habelitz S, Marshall SJ, Marshall GW. Mechanical recovery of dentin following remineralization in vitro - an indentation study. *J Biomech*. 2011; 44: 176-181.
- 12) Maltz M, Oliveira E, Fontanella V, Bianchi R. A Clinical, Microbiologic, and Radiographic Study of Deep Caries Lesions After Incomplete Caries Removal. *Quint Int*. 2002; 33: 151-159.
- 13) Weber CM, Alves LS, Maltz M. Treatment decisions for deep carious lesions in the Public Health Service in Southern Brazil. *J Public Health Dent*. 2011; 71: 265-70.
- 14) Foley J, Evans D, Blackwell A. Partial Caries Removal and Cariostatic Materials in Carious Primary Molar Teeth: A Randomised Controlled Clinical Trial. *Brit Dent J*. 2004; 197: 697-701.
- 15) Mertz E, Curtis J, Ergle J, Rueggeber F, Adair S. Ultraconservative and Cariostatic Sealed Restorations: Results at year 10. *J Am Dent Assoc*. 1998; 129: 55-66.
- 16) Kucukyilmaz E, Yasa B, Akcay M, Savas S, Kavrik F. Effects of pulp capping materials on fracture resistance of Class II composite restorations. *Eur. J. Dent*. 2015; 9: 218-223.
- 17) Bicalho A, Souza S, Rosatto C, Tantbirojn D, Versluis A, Soares CS. Effect of temperature and humidity on post-gel shrinkage, cusp deformation, bond strength and shrinkage stress - Construction of a chamber to simulate the oral environment. *Dental Materials*. 2015; 26: 2639-2649.

18) Kern M, Strub JR, Lu XY. Wear of composite resin veneering materials in a dual-axis chewing simulator. J Oral Rehabil. 1999; 26: 372-378.